

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-304289

(43)Date of publication of application : 28.11.1997

(51)Int.Cl.

G01N 21/88

(21)Application number : 08-112073

(71)Applicant : HITACHI ELECTRON ENG CO LTD

(22)Date of filing : 09.04.1996

(72)Inventor : HACHIKAKE YASUO
OKAWA TAKASHI
MIZUTANI NORIHIKO
IIZUKA SHIGE HARU

(30)Priority

Priority number : 07108961
08 84619Priority date : 10.04.1995
13.03.1996

Priority country : JP

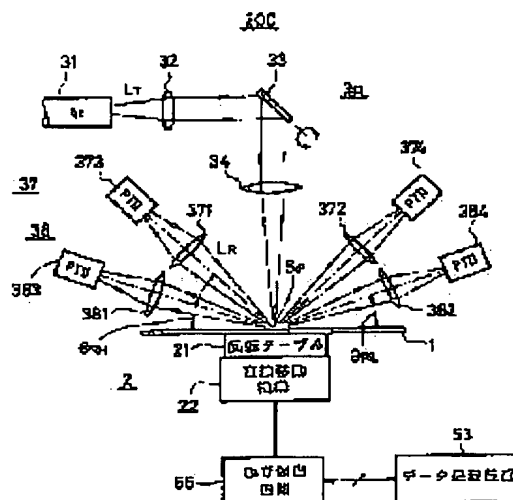
JP

(54) METHOD AND APPARATUS FOR INSPECTING SURFACE OF WAFER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To detect adhered foreign matter and COP in the surface inspection of a wafer.

SOLUTION: A low angle light detection system 38 of which the angle of elevation based on the surface of a wafer 1 is 30° or less and a high angle light detection system 37 of which the angle of elevation is larger than 30° are provided and the wafer 1 is scanned by laser beam and the low and high angle light detection systems 38, 37 detect the scattered beam of laser beam to perform the detection of foreign matter corresponding to scanning and the object detected at the same scanning position only by the high angle light detection system 38 is set to the flaw of the wafer 1 and the object detected by the low angle light detection system 38 or both of the low and high angle light detection systems is set to the adhered foreign matter of the wafer 1.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-304289

(43) 公開日 平成9年(1997)11月28日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 N 21/88

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 N 21/88

技術表示箇所

E

J

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-112073

(22) 出願日 平成8年(1996)4月9日

(31) 優先権主張番号 特願平7-108961

(32) 優先日 平7(1995)4月10日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平8-84619

(32) 優先日 平8(1996)3月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000233480

日立電子エンジニアリング株式会社

東京都渋谷区東3丁目16番3号

(72) 発明者 八掛 保夫

東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子

エンジニアリング株式会社内

(72) 発明者 大川 隆志

東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子

エンジニアリング株式会社内

(72) 発明者 水谷 紀彦

東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子

エンジニアリング株式会社内

(74) 代理人 弁理士 梶山 信是 (外1名)

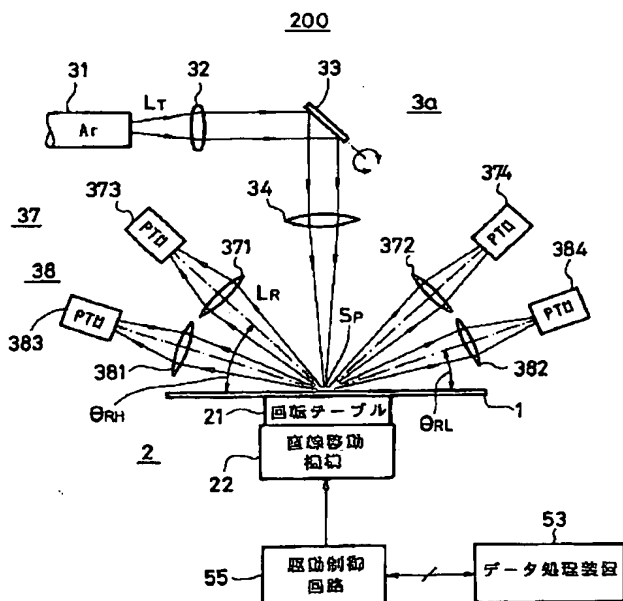
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ウエハ表面検査方法および検査装置

(57) 【要約】

【課題】 付着異物とCOPとを検出することができるウエハ表面検査方法およびウエハ表面検査装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 ウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の角度の低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系を設け、ウエハをレーザ光により走査して、低角度受光系と高角度受光がレーザ光の散乱光を受光して走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において高角度受光系でのみ検出されたものをウエハの欠陥の検出とし、低角度受光系あるいは低角度受光系と高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出とするものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】ウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系とを有し、前記ウエハをレーザ光により走査して、前記低角度受光系と前記高角度受光が前記レーザ光の散乱光を受光して前記走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において前記高角度受光系でのみ検出されたものを前記ウエハの欠陥の検出とし、前記低角度受光系で検出されたものを付着異物の検出とするウエハ表面検査方法。

【請求項2】ウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系とを有し、前記ウエハをレーザ光により走査して、前記低角度受光系と前記高角度受光が前記レーザ光の散乱光を受光して前記走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において前記低角度受光系で検出されずに前記高角度受光系でのみ検出されたものを前記ウエハの欠陥の検出とし、前記低角度受光系と前記高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出とするウエハ表面検査方法。

【請求項3】さらに、前記ウエハの上部から垂直方向に前記レーザ光のスポットを照射する投光光学系を有し、前記低角度受光系の角度は、 $5^\circ \sim 20^\circ$ の範囲にあって、前記高角度受光系の角度は、 $35^\circ \sim 60^\circ$ の範囲にある請求項1記載のウエハ表面検査方法。

【請求項4】前記ウエハのプリースター角に対応する角度で斜め方向からP偏光の前記レーザスポットを照射する投光光学系を有し、前記低角度受光系の角度が前記プリースター角に対応する角度に選択され、かつ、S偏光の散乱光を受光するものであり、前記高角度受光系の角度は、 $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲にある請求項2記載のウエハ表面検査方法。

【請求項5】第1の光電変換器を有しウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の角度をなす低角度受光系と、第2の光電変換器を有し前記低角度受光系よりも大きな仰角の高角度受光系と、前記ウエハをレーザ光により走査する走査機構と、前記第1の光電変換器から第1の検出信号を受け、前記第2の光電変換器から第2の検出信号を受けて所定値以上の前記第1の検出信号を受けたときあるいは所定以上の前記第1の検出信号と所定値以上の前記第2の検出信号を受けたときに付着異物検出とし、所定以上の前記第1の検出信号を受けておらず、前記所定値以上の前記第2の検出信号のみを受けたときに欠陥検出とするデータ処理装置とを備えるウエハ表面検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ウエハ表面検査方法および検査装置に関し、詳しくは、シリコンウエハの表面に付着した異物と、表面に存在する結晶欠陥とを

分離して検出することができる検査方法および検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体ICの素材となるシリコンウエハは、高純度の多結晶シリコンから造られる。それは、引き上げ法などにより単結晶シリコンのインゴットを作り、これをスライスして薄板とし、その表面を研磨して鏡面に仕上げ、さらに、表面に付着した異物を入念に洗浄して製作される。この洗浄にもかかわらず、いくらかの付着異物が残留する。これが多く残留するとICの品質を阻害するので、表面検査装置により付着異物の有無や程度が検査されている。

【0003】図10により、従来から使用されているウエハ表面検査装置の構成を示す。表面検査装置は、図10(a)に示すように、回転・移動テーブル2と、検査光学系3、データ処理部4などよりなる。検査対象となるシリコンウエハ（以下単にウエハ）1は、回転・移動テーブル2に載置される。このウエハ1の上部に配置された検査光学系3は、レーザ発振管を備えたレーザ光源31を有している。これの出力するレーザビームLTは、コリメータレンズ32により平行にされ、振動ミラー33によりX方向に掃引される。そして、それが集束レンズ34によりレーザスポットSp（以下スポットSp）として集束されてウエハ1の表面に対して垂直に投射されて、ウエハ1の移動に応じてウエハを走査する。

【0004】ウエハ1は、回転・移動テーブル2により回転させられるとともに半径方向（X方向）に移動する。これにより、スポットSpは、ウエハ1の表面をスパイラル状に走査し、その結果、ウエハ1の全面が走査される。なお、回転・移動テーブル2の駆動は、後述するデータ処理部4により制御される。ウエハ1の表面に異物eが存在すると、図(b)に示すように、スポットSpは異物eによりランダムな方向に散乱光Seを発生する。その一部は、光軸が 45° をなす集光レンズ35により集光されて光電変換器である光電子増倍管(PMT)36に受光される。PMT36に入射した光はここで電気信号に変換され、変換された受光信号は、異物検出回路41に入力される。異物検出回路41は、片側増幅の差動増幅器により所定の閾値 V_{TH} と受光信号とを比較して、閾値 V_{TH} を越えた成分を増幅する。これによりノイズ成分が除去された検出信号（アナログ信号）がデータ処理部4に入力される。

【0005】検出信号は、データ処理装置42に設けられたA/D変換回路(A/D)42bによりデジタル値に変換されてMPU42aによりメモリ42cに一旦記憶され、MPU42aが所定のプログラムを実行することにより検出データがその走査位置（検出位置）のデータとともにデータ処理される。その結果、検出値に応じて異物eの大きさが判定される。さらに異物の個数がカウントされる。さらに、MPU42aが所定のプログラ

ムを実行することで異物eの個数と大きさ、その位置を示す異物データが生成され、プリンタ43あるいはディスプレイ(図示せず)等に出力されて異物の状態がマップ表示される。なお、A/D42bは、データ処理装置42の外部に設けられていてもよい。前記のスポットSpは、その径が数 μm で非常に強い光であり、集光レンズ35の直径は、大きく集光角度の広いものを使用している。また、PMT36は大きい増幅率と低ノイズの特性を有するものである。これにより0.1 μm 径程度の異物あるいは欠陥まで検出することが可能である。なお、スポットSpのウエハ1に対する走査は、上記の回転走査方式のほか、XY走査方式によることもできる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】さて、最近におけるICの集積密度の向上とこれに伴う配線の細線化によって、検出する異物は、大きさの許容限界がさらに微小になってきている。そのため、ウエハ1のシリコン原子の欠損による欠陥までが問題となってきた。これを図11と図12により説明する。ウエハは、無数のシリコン原子Siが互いに格子状に結合された単結晶で構成されている。図11において示すように、シリコン原子Siが酸化されて微小な酸化物が表面に形成され、それが洗浄により欠落することで欠損することがある。これが結晶欠陥となる。この結晶欠陥は、関係者によりCrystal-Originated-Particle(COP)とよばれているので、以下これをもって説明する。

【0007】図11では、連続した複数個(図では3個)のシリコン原子Siが欠損している。これが多数の場合を顕微鏡で観察すると、その断面は、図12に示すような凹面をなしている。その直径 ϕ と深さ δz はもちろんさまざまであるが、直径 ϕ に比べて深さ δz が小さいという特徴がある。例えば、直径 ϕ が1~2 μm のとき、深さ δz は20分の1程度の0.05~0.1 μm 程度である。ICに対して欠陥となるCOPの大きさは、直径 ϕ が2 μm のときは、16MビットのICメモリ(配線幅0.7 μm)では問題とならないが、64Mビット以上のICメモリに対して有害になる。COPの個数は、単結晶シリコンのインゴットを作るときの引き上げ速度や洗浄回数に依存して変化する。一方、付着異物eの個数も洗浄により減少するので、引き上げ速度と洗浄回数を適切に決めることが必要になる。そのためには、COPと付着異物eの個数および大きさを個別に計測することが必要になる。

【0008】そこで、ウエハ表面検査装置によりCOPを計測して評価データを得たいという要請がある。しかし、前記の検査光学系3は、COPとともに付着異物eが検出されるので、両者の個数あるいは両者の個数とその大きさを別個に計測することはできない。なお、異物検出装置に関しては、高角度、低角度の2つの投光系を

持つ、本出願人による「ガラスの異物検査装置」の発明がUSP5,245,403号としてある。この発明は、付着異物とCOPとを検出することができるウエハ表面検査方法を提供することを目的とする。この発明は、付着異物とCOPとを検出することができるウエハ表面検査装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するためのこの発明のウエハ表面検査方法および検査装置の特徴は、ウエハの表面を基準とした仰角が30°以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系とを有し、ウエハをレーザ光により走査して、低角度受光系と高角度受光がレーザ光の散乱光を受光して走査に対応して異物検出を行い、同じ走査位置において高角度受光系でのみ検出されたものをウエハの欠陥の検出とし、低角度受光系で検出されたものを付着異物の検出とするものである。また、前記の付着異物については、前記低角度受光系と前記高角度受光とともに検出されたものを付着異物の検出としてもよい。さらに、必要に応じて付着異物あるいは欠陥の大きさを判定するが、それは、高角度受光系で検出された異物の検出値において行われる。検査装置としては、前記の低角度受光系に第1の光電変換器を設け、前記の高角度受光系に第2の光電変換器を設け、第1の光電変換器から第1の検出信号を受け、前記第2の光電変換器から第2の検出信号を受けて所定値以上の前記第1の検出信号を受けたとき、あるいは所定値以上の前記第1の検出信号と所定値以上の第2の検出信号とをともに受けたときに付着異物検出とし、前記所定値以上の前記第2の検出信号のみ受けたときに欠陥検出とするデータ処理装置とを備えている。

【0010】

【発明の実施の形態】さて、この発明の発明者によりなされた付着異物と結晶欠陥の散乱光の指向特性に関する実験について述べると、付着異物の散乱光はほぼ無指向性であるが、通常の結晶欠陥は深さが直径に比べて非常に浅いので、散乱光は表面に対して約30°以上という指向性を持つ。これ以下となる方向にはほとんど散乱されない。このような指向特性のため、ウエハの面を基準とした仰角が35°~60°の角度方向に設けた高角度受光系により付着異物と結晶欠陥の散乱光とともに受光して、これらを検出する。これに対して仰角が30°以下の角度方向に設けた低角度受光系では、結晶欠陥の散乱光がほとんど入射しないので、これにより付着異物の散乱光のみを受光して検出する。なお、従来技術の説明でも理解できるように、結晶欠陥や付着異物等の散乱光が強く受光できる角度としては従来から35°~60°程度の範囲が選択されている。そして、特に、これの適正な受光範囲としては、40°~50°の範囲である。

【0011】前記の仰角30°以下の低角度受光は、図

7に示す実験結果による。すなわち、図7(a)に仰角が $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の範囲の高角度で受光したときのCZOC HRALSKI法により製造されたウエハについての異物検出データについてのマップを、(b)には、仰角が $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の低角度で受光したとき同じウエハについての異物検出データについてのマップをそれぞれ一例として示す。これらのマップを比較すると分かるように、図

(a)では、異物の検出量が多く、これには付着異物と結晶欠陥とが含まれている。一方、図(b)では、異物検出量が少なく、ほぼ付着異物のみが検出されている。ウエハから付着異物を完全に除去して検査することは難しいので、このことを検証するために、COP欠陥がほとんど発生しないFLOATING ZONE法により製造したウエハについて異物検出を行った。仰角が $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の範囲の高角度で受光したときのその検出データを

(c)に、仰角が $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の低角度で受光したときのその検出データを(d)にそれぞれ示す。このマップ(c)、(d)では、先のマップ(a)、(b)と相違して、低角度受光で検出した異物も高角度受光で検出した異物もほぼ同じような状態で検出されている。これらマップは、代表的な例であって、多少前記の角度を前後させても相違は少ない。しかし、低角度受光系の光軸が 30° 以上になると、(b)の状態が(a)の状態に近づく。

【0012】ところで、最近、図8に示すように、COPがウエハの内部にも存在することが分かってきた。また、表面には、さらに、酸化物層(OSF; Oxidation Induced Stacking Fault)があって、これらは付着異物と同様にスポットを当てた場合に散乱光を発生させる。これらからの散乱光は、PMT(光電子増倍管)の増幅率を上げた場合にノイズとして作用する。このノイズは、検出レベルが比較的低い低角度受光系での付着異物の検出において問題となる。そこで、発明者等は、P偏光成分の反射率がほぼゼロになるブリュースター角 θ_B に着目した。このブリュースター角 θ_B を低角度受光系に適用することでCOPとOSFからの散乱光により発生するノイズ成分を低減し、より正確に付着異物を検出することができる。ウエハ1のブリュースター角 θ_B は、シリコンの屈折率 n より算出することができる。ただし、一般的にシリコンやガラスなどの屈折率 n は波長 λ に依存して変化する。例えば、波長 $3\mu\text{m}$ に対するシリコンの屈折率 n としては、値3.43であることが光学ハンドブック等で公表されている。しかし、検出光学系にこれをそのまま適用することはできない。

【0013】図9は、ブリュースター角についての実験データを示す曲線図で、横軸は入射角 θ_1 、縦軸は反射率 r と透過率 t とを%で示している。レーザ光源としてアルゴンレーザ管を使用し、これが発振する 488nm 波長の直線偏光波の角度を変えて、P偏光波とS偏光波を作り、それぞれをウエハ1の表面に投射し、入射角 θ

1に対する反射率 $r[P]$ (ただし $[P]$ はP偏光成分)、透過率 $t[P]$ と、反射率 $r[S]$ (ただし $[S]$ はS偏光成分)、透過率 $t[S]$ とをそれぞれ測定した。その結果、図に×で示す実測値が得られた。反射率 $r[P]$ は、入射角を θ_1 とすると、 $\theta_1=76^{\circ}$ で極小値を示すので、これが一応ブリュースター角 θ_B になる。したがって、屈折角を θ_2 とすると、 θ_2 は 14° であり、前記の $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の範囲に入る。

【0014】ここで、屈折率 $n_1=1$ の空気側から、屈折率 n_2 の誘電体の表面に対して、P偏光波とS偏光波の光束を、それぞれ適当な入射角 θ_1 で投射するとすれば、 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ が成立する。この論理式から $\theta_1=76^{\circ}$ 、 $\theta_2=14^{\circ}$ を代入して n_2 を求めると、実際のシリコンウエハの屈折率 $n=4.0$ が得られる。そこで、これに基づいて $r[P]$ 、 $t[P]$ 、 $r[S]$ 、 $t[S]$ について理論値を算出すると、「・」で図示する計算値が得られた。 $r[P]$ と $t[P]$ の実測値は、ブリュースター角 $\theta_B(76^{\circ})$ の近傍で1%程度の差異があるが、これ以外の測定範囲に関しては、計算値とほぼ正確に一致している。ただし、 $r[S]$ と $t[S]$ の実測値は計算値と一致していない。これにより、前記の低角度受光系の角度を 14° 前後として、さらに、この角度と等しい照射角のP偏光の光源を持つ投光系を設ける。低角度受光系にはS偏光フィルタを設け、これを介して散乱光を受光する。これによりより正確に付着異物のみを検出することができる。P偏光の光を付着異物が受けて散乱させた場合には、P成分とS成分の散乱光が発生するが、COPやOSFの面での反射光は、P成分のみが主体となるからである。これをS偏光フィルタによりカットして付着異物を検出する。これによりCOPやOSFからの散乱光を受光しなくて済み、S/N比が向上し、特に、PMTの感度(増幅率)を少し抑えてノイズに影響を抑制して正確に付着異物を検出をすることが可能になる。

【0015】

【実施例】図1は、この発明における検査光学系であって、図8と同一の構成要素は同一の符号で示す。図1に示すウエハ表面検査装置200の検査光学系3aは、前記した図8の検査光学系3とほぼ同一同様な構成であるが、これが高低2つの受光系を左右に配置している点で図8のものとは相違している。その第1の受光系は、ウエハ1の表面を基準としてその仰角が $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ の角度をなす高角度受光系37であり、第2の受光系は、仰角が $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の角度をなす低角度受光系38である。回転・移動テーブル2は、回転テーブル21とこれを直線移動させる直線以降機構22とからなり、後述するデータ処理装置53により駆動制御回路55を介してその位置と回転とが制御される。なお、レーザ走査系としては、図8と同様に回転走査方式のものであるが、これをXY走査方式に換えても差し支えはない。

【0016】高角度受光系37は、左右の両側に対称的に設けた集束レンズ371、PMT373と、集束レンズ372、PMT374よりなる。ウエハ1の表面を基準としたその光軸の仰角 θ_{RH} は $40 \sim 50^\circ$ の範囲内に設定してある。低角度受光系38は、同様に左右対称に設けた集束レンズ381、PMT383と、集束レンズ382、PMT384とよりなる。その光軸は仰角 θ_{RL} を $15 \sim 25^\circ$ の範囲内に設定してある。図2は、ウエハ表面検査装置200の検査光学系3aを除いた構成を示す。図8の異物検出回路41に対応するものとしてそれぞれの受光系に対応して異物・欠陥検出回路51と付着異物検出回路52とが設けられている。異物・欠陥検出回路51は、高角度受光のPMT373、374の検出信号を加算する加算回路51aと、加算された検出信号を増幅して出力するアンプ51b、このアンプ51bの出力を受けて所定の閾値 V_{TH1} と比較して閾値を越えた信号部分を増幅する片側増幅の差動アンプ51c、ピークホールド回路51d、そしてA/D変換回路(A/D)51eとからなる。付着異物検出回路52は、低角度受光のPMT383、384の検出信号を加算する加算回路52aと、加算された検出信号を増幅して出力するアンプ52b、このアンプ52bの出力を受けて所定の閾値 V_{TH2} と比較して閾値を越えた信号部分を増幅する片側増幅の差動アンプ52c、ピークホールド回路51d、そしてA/D変換回路(A/D)52eとからなる。なお、前記の閾値 V_{TH1} 、 V_{TH2} は、調整可能であって、それぞれの受光系の検出信号の状態に応じてそれぞれ適正な値に設定される。

【0017】その結果、ウエハのらせん走査に応じて検出された付着異物と欠陥をと含む異物の検出信号がピークホールド回路51dによりホールドされ、同時に付着異物の検出信号がピークホールド回路52dによりホールドされる。それぞれのホールド値は、データ処理装置53の制御信号に応じてA/D51e、52eによりデジタル値に変換され、データ処理装置53に取り込まれる。ピークホールド回路51d、52dのホールド値は、A/D51e、52eからの信号によりそれぞれリセットされて次の検出信号のピーク値がこれらによりそれぞれホールドされる。

【0018】データ処理装置53は、マイクロプロセッサ(MPU)53aとメモリ53b、ディスプレイ53c、プリンタ53d、インタフェース53e等から構成されて、これらがバス53fを介して相互に接続されている。そして、メモリ53bには、異物検出プログラム54aと異物・欠陥区分けプログラム54b、異物の大きさ判定プログラム54c、検出値カウントプログラム54d、テーブル位置制御プログラム54e等が設けられ、さらに、異物データ領域54f、欠陥データ領域54gとが設けられている。MPU53aは、テーブル位置制御プログラム54eを実行することで、インタフェ

ース53eを介して回転・移動テーブル2を制御して走査を開始する。そして、その制御量は、走査位置情報としてメモリ53bの所定の領域に記憶される。

【0019】異物検出プログラム54aは、A/D51e、52eのデータを所定のタイミングでインタフェース53eを介して取り込み、メモリ53bに走査位置データとともに記憶する処理をする。異物・欠陥区分けプログラム54bは、採取された検出値のデータから同じ検出位置において、A/D51e、52eから得たデータがそれぞれに設定された所定値以上のデータ値であるときに、それを付着異物の検出データとして抽出して異物データ領域54fに記憶し、A/D52eから得たデータがこれに対して設定された所定値以下であり、かつ、A/D51eから得たデータがこれに対して設定された所定値以上であるときに、それを欠陥データとして抽出して欠陥データ領域54gに記憶する。なお、所定値以上の検出データを対象とするのは、ノイズデータを除去するためである。

【0020】異物の大きさ判定プログラム54cは、異物データ領域54fのデータを読み出してその値に応じて大きさのランク付けをし、各データに大きさの情報(大きさを示すデータ)を付加して異物データ領域54fの元の記憶位置に記憶する処理をする。さらに、欠陥データ領域54gのデータを読み出してその値に応じて同様に大きさのランク付けをし、各データに大きさの情報(大きさを示すデータ)を付加して欠陥データ領域54gの元の記憶位置に記憶する処理をする。検出値カウントプログラム54dは、異物データ領域54fを参照して大きさに応じて付着異物の数をそれぞれカウントし、かつ、付着異物の総計を算出する。さらに、欠陥データ領域54gを参照して前記と同様にその大きさに応じてそれぞれの数と欠陥の総数とをカウントして算出する。なお、上記の異物検出プログラム54aは、計測器一般のデータを採取するプログラムであり、異物・欠陥区分けプログラム54bは、データ値を参照して区分けするだけのプログラムであり、付着異物の大きさ判定プログラム54cも所定の範囲を基準にランク分けする一般的なプログラムである。また、検出値カウントプログラム54dも特定のデータだけを単にカウントするプログラムである。これらは、特別なプログラムではないのでその詳細は割愛する。

【0021】付着異物と欠陥の検出処理について図3に従って説明すると、まず、初期値を設定して(ステップ100)、走査を開始する(ステップ101)。これによりウエハ1の表面に対して垂直にスポットSpを投射して走査が開始されると、付着異物eの散乱光とCOPの散乱光は、高角度受光系37の左右の集光レンズ371、372によりそれぞれ集光されて、対応するPMT373、374に受光される。一方、低角度受光系38の集光レンズ381、382には、付着異物eの散乱光の

みがそれぞれ入射して集光され、対応するPMT 383, 384に受光される。PMT 373, 374の受光信号は、異物・欠陥検出回路51に輸入され、これに設定された閾値VTH1と比較されてノイズが除去され、付着異物eとCOPとがともに検出されて、それぞれの検出信号がA/D51eによりデジタル値に変換され、インタフェース53eに出力される。また、PMT 383, 384の受光信号は、付着異物検出回路52に輸入して同様にノイズが除去され、付着異物eのみが検出され、検出信号がA/D52eによりデジタル値に変換され、インタフェース53eに出力される。

【0022】MPU53aは、異物検出プログラム54aを実行して低角度受光と高角度受光の検出データをインタフェース53eから採取して(ステップ102)、異物・欠陥区分けプログラム54bを実行して異物・欠陥区分け処理を行う(ステップ103)。次に、MPU53aは、異物の大きさ判定プログラム54cを実行して付着異物の大きさ判定をして(ステップ104)、次に検出値カウントプログラム54dを実行して大きさに応じて付着異物の数をカウントとし、付着異物の総計の算出処理をし、さらに欠陥についても大きさに応じて欠陥の数をカウントと欠陥の総計の算出処理をし、大きさとその総計の算出処理をして(ステップ105)、ディスプレイに欠陥あるいは、付着異物をそれぞれに、あるいはこれらの両者をともに、例えば色分けしてマップとして出力する処理をする(ステップ106)。もちろん、色分けせずに両者をマップ表示してもよい。その結果、図7で示されるような異物マップが出力される。

【0023】図4は、検査光学系3bとして図1における低角度受光系38のうち図面右側の受光系の集束レンズ382, PMT 384の間にS偏光フィルタ385を設けて、これらの光軸のウエハ1を基準とした仰角が約 14° (俯角は約 76°)のプリースター角に設定し、図面左側の集束レンズ381, PMT 383を削除した受光系38aを設け、さらにこの削除した受光系に換えて、プリースター角でP偏光のレーザスポットを照射する投光光軸の仰角が約 14° の投光系330を設けたものである。そして、この検査光学系3bは、光学系切換機構39により検査光学系3aと切換えられてウエハ1の上部に配置される。この切換えは、検査光学系3aによる高角度の受光系での検査の後にデータ処理装置53により駆動制御回路55を介して行われる。図4は、この切換られた後の状態を示している。なお、検査光学系3aと検査光学系3bとが共にウエハ1の上部に配置できれば、光学系切換機構39を設けて光学系の切換えを行う必要はない。

【0024】検査光学系3bの投光系330は、P偏光の光を照射するアルゴン(Ar)レーザ光源331を設け、これにコリメータレンズ332と2個のミラー333, 334、さらに集束レンズ335を図示の位置に付

加したものである。付着異物検出回路52のアンプ52bの閾値は、ここでは、検出光のレベルとノイズとの関係に合わせてVTH3になっている。データ処理装置53の構成は前記と同じである。その処理としては、データ処理装置53の検査データの採取が高角度受光系37の異物・欠陥検出がウエハ1の全面走査により行われて検査位置データのとともに検査データがまず採取され、その後、検査光学系3bに切換えられて、ウエハ1の全面走査により行われてここで採取された検査位置データが先に採取されたデータの検査位置と対応させて同じ検査位置に記憶される。この点で図3の前記のステップ101, 102の一度にデータを採取する処理とは相違する。その後の処理は、図3のフローチャートのステップ103以降の処理と同じである。

【0025】これにより、図5の(a)に示すように、ウエハ1の表面にある付着異物eのランダム偏光の散乱光は、受光系38aの集束レンズ382により集光されて、S偏光フィルタ385によりS偏光成分が抽出される。一方、表面および内部に存在するCOPとOSFは、透過光T[P]を散乱し、このランダム偏光の散乱光Scは、その一部分が集束レンズ382により集光され、S偏光フィルタ385によりS偏光成分が抽出される。これが付着異物の散乱光SeのS偏光成分より弱いので、付着異物eの散乱光SeはS/N比がほとんど低下せずにPMT 383に受光される。PMT 383が出力する異物検出信号は、付着異物検出回路52に輸入されて、閾値VTH3と比較されてノイズが除去され、 $0.1\mu\text{m}$ 以下までの付着異物eと、そのそれぞれの大きさとが検出される。なお、図では、データ処理の説明の都合上、PMT 383の出力を付着異物検出回路52に輸入しているが、本来は、切換処理によりPMT 383の出力を異物・欠陥検出回路51に輸入してもよい。この場合には、差動アンプ51cの閾値をVTH1からTVH3に切り替える。このようにすれば付着異物検出回路52が不要になる。

【0026】図6に上記により計測された付着異物eとCOPの個数データの一例を示す。図6においては、横軸を洗浄回数n、縦軸を個数Nとし、それぞれ $2\mu\text{m}$ 以上の付着異物eの個数NeとCOPの個数Ncについての曲線を示す。付着異物eの個数Neは、当然ながら洗浄回数nにほぼ反比例して減少する。これに対してCOPの個数Ncは、洗浄回数nが増す伴ってかなりの増加率で増加している。ただし、個数Ncは、インゴットの引き上げ速度が大きいほど大きい。ウエハ製造メーカにおいては、このような計測データを参考として、最適な洗浄回数nなどを決定することができる。なお、この発明は、ブランクウエハに限定されるものではなく、例えば、ウエハにアルミニウムAl等のデポジション膜が形成された場合に、その膜厚が $0.1\mu\text{m}$ 程度のものであれば、欠陥と付着異物との検出可能であることが確認

されている。また、前記のデータ処理装置における付着異物と結晶欠陥とのデータの区分け処理としては、例えば、高角度受光系により受光したスポットからの散乱光の検出データに対して同時に低角度受光系により受光された場合にそのデータにフラグを立てることにより行うこともできる。

【0027】

【発明の効果】以上説明してきたように、この発明にあっては、ウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の低角度受光系を設けてウエハをレーザ光により走査してこの走査に応じて付着異物を検出し、これよりも大きな仰角の高角度受光を設けて前記の走査に応じて付着異物と欠陥とを検出して、同じ走査位置において高角度受光系でのみ検出されたものをウエハの欠陥の検出とし、低角度受光系と高角度受光でともに検出されたものを付着異物の検出とするので、付着異物と結晶等の欠陥を区別して検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明のウエハ表面検査装置の検査光学系の説明図である。

【図2】図2は、そのデータ処理部の説明図である。

【図3】図3は、その付着異物と欠陥の検出処理のフローチャートである。

【図4】図4は、図1における光学系の異物検出系にさらにプリースター角を適用した実施例の説明図である。

【図5】図5は、付着異物とCOPの散乱光状態の説明図であって、(a)は、付着異物の場合であり、(b)は、ウエハ表面にCOPがある場合、そして(c)は、ウエハ内部にCOPがある場合である。

【図6】図6は、計測データの一例を示す付着異物の個数と洗浄回数との相関関係の説明図である。

【図7】図7は、この発明の基礎となる付着異物とCOPの散乱光の指向特性の説明図であって、(a)は、CZ OCHRALSKI法により製造されたウエハについての仰角が

$40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲の高角度で受光したときの異物検出データのマップ図であり、(b)は、前記のウエハについて $5^\circ \sim 20^\circ$ の低角度で受光したとき同じマップ図である。また、(c)は、FLOATING ZONE法により製造されたウエハについての仰角が $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲の高角度で受光したときの異物検出データのマップ図であり、(d)は、前記のウエハについて $5^\circ \sim 20^\circ$ の低角度で受光したとき同じマップ図である。

【図8】図8は、ウエハの内部にある結晶欠陥(COP)と表面にある酸化物層(OSF)の説明図である。

【図9】図9は、プリースター角についての実験データと論理値との関係を示すグラフ図である。

【図10】図10は、従来のウエハ表面検査装置であって、(a)は、その構成図、(b)は、その異物についての照射光の散乱状態の説明図である。

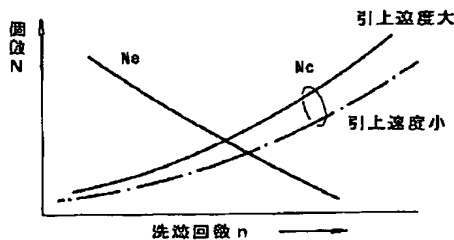
【図11】図11は、結晶欠陥(COP)の説明図である。

【図12】図12は、COPの形状の説明図である。

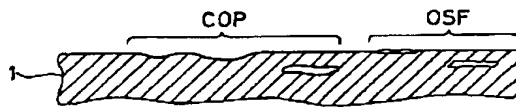
【符号の説明】

1…ウエハ、2…回転・移動テーブル、3、3a、3b…検査光学系、4…データ処理部、37…高角度受光系、38…低角度受光系、373、374、383、384…光電子増倍管(PMT)、51…異物・欠陥検出回路、51a、52a…加算回路、51b、52b…アンプ、51c、52c差動アンプ、51d、52d…ピークホールド回路、51e、52e…A/D変換回路(A/D)、52…付着異物検出回路、53…データ処理装置、53a…マイクロプロセッサ(MPU)、53b…メモリ、53c…ディスプレイ、53d…プリンタ、54a…異物検出プログラム、54b…異物・欠陥区分けプログラム、54c…異物の大きさ判定プログラム、54d…検出値カウントプログラム、54e…テーブル位置制御プログラム、54f…異物データ領域、54g…欠陥データ領域、55…駆動制御回路。

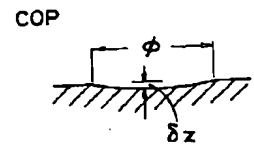
【図6】



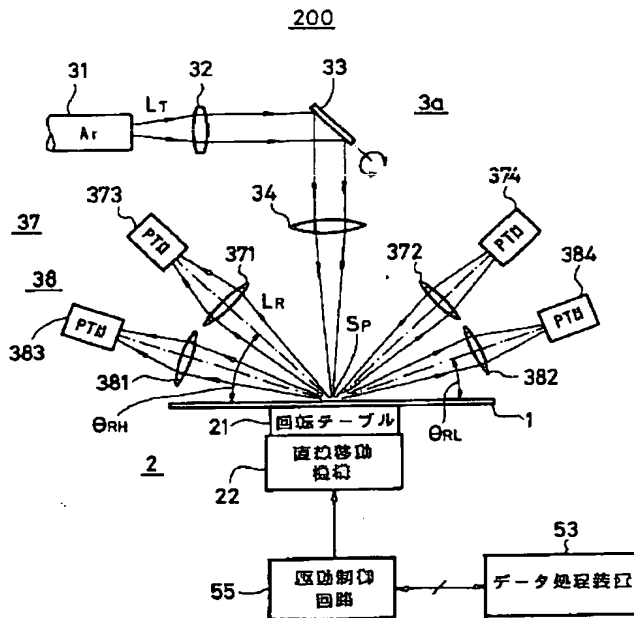
【図8】



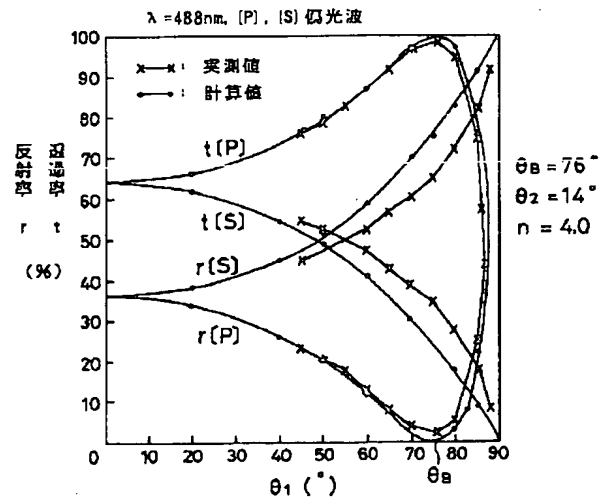
【図12】



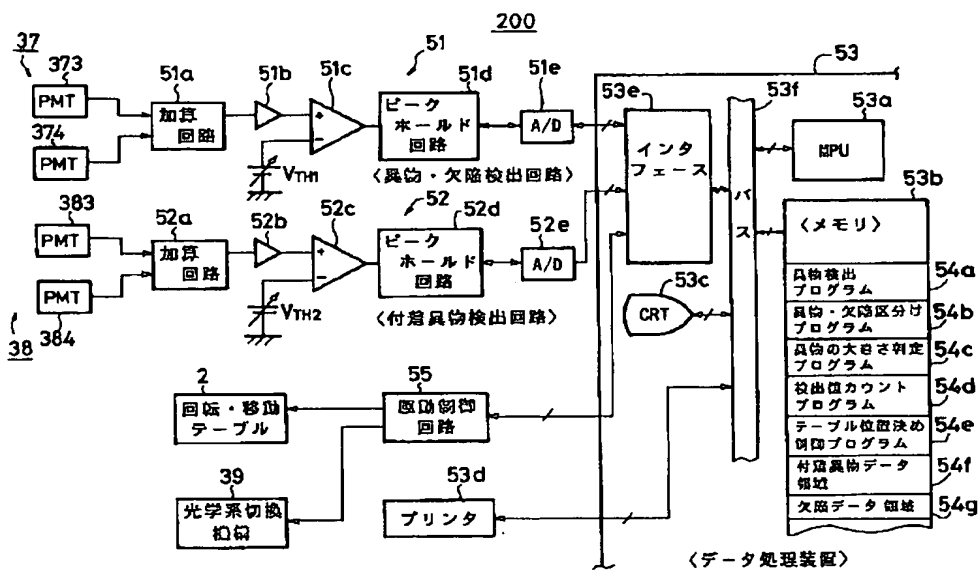
【図1】



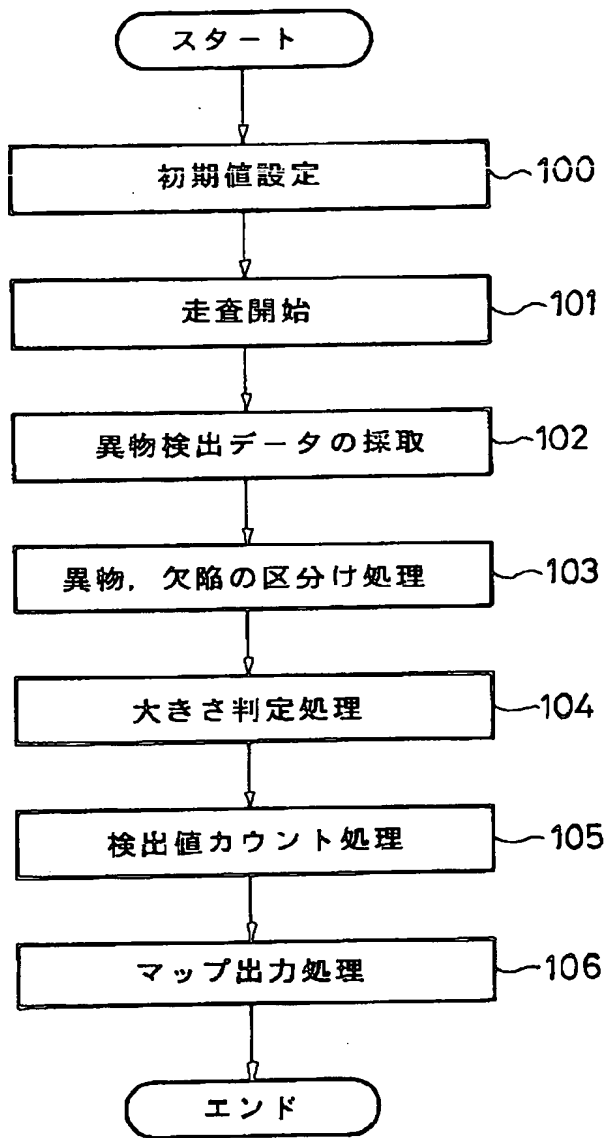
【図9】



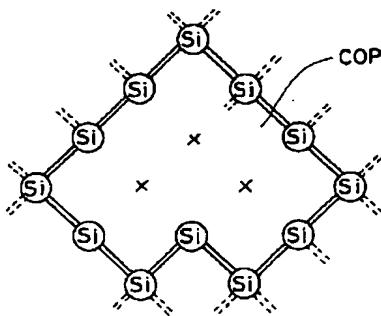
【図2】



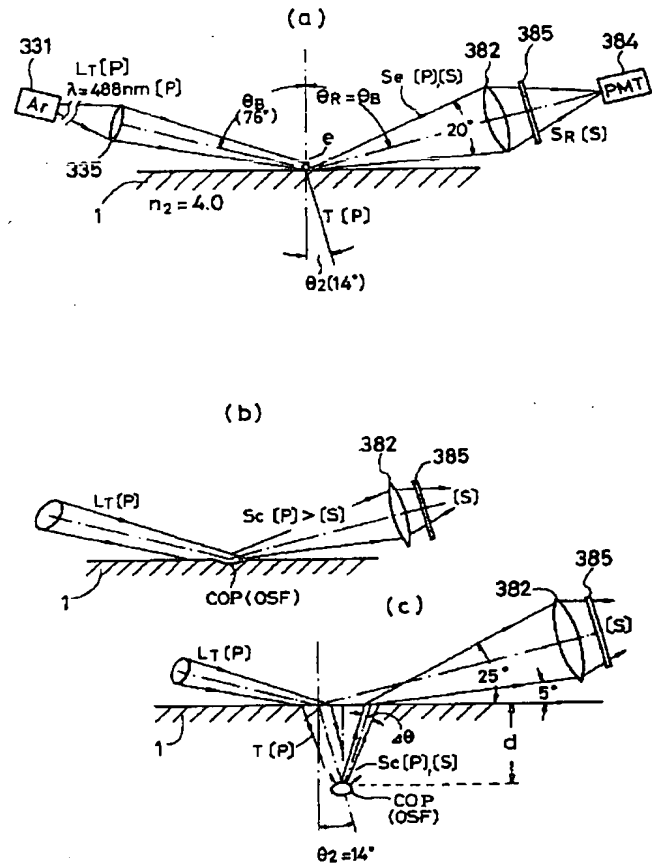
【図 3】



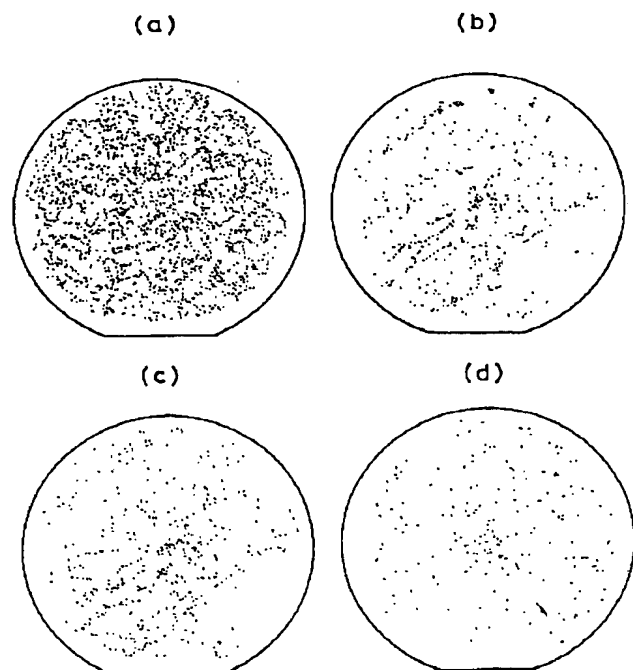
【図 11】



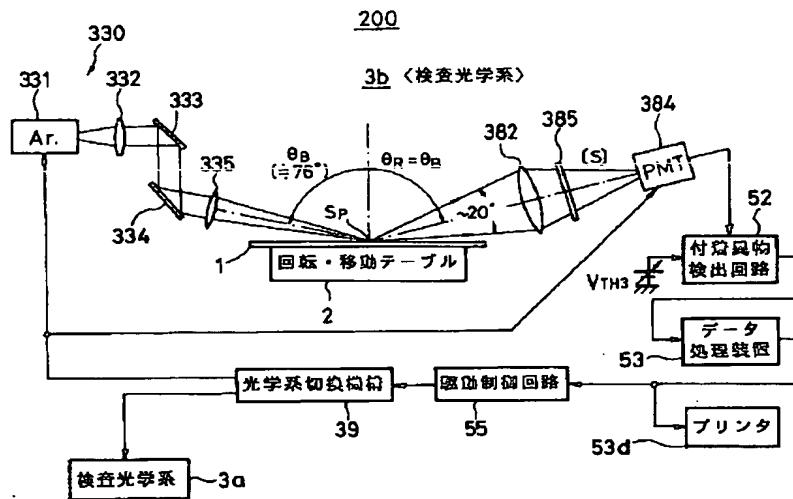
【図 5】



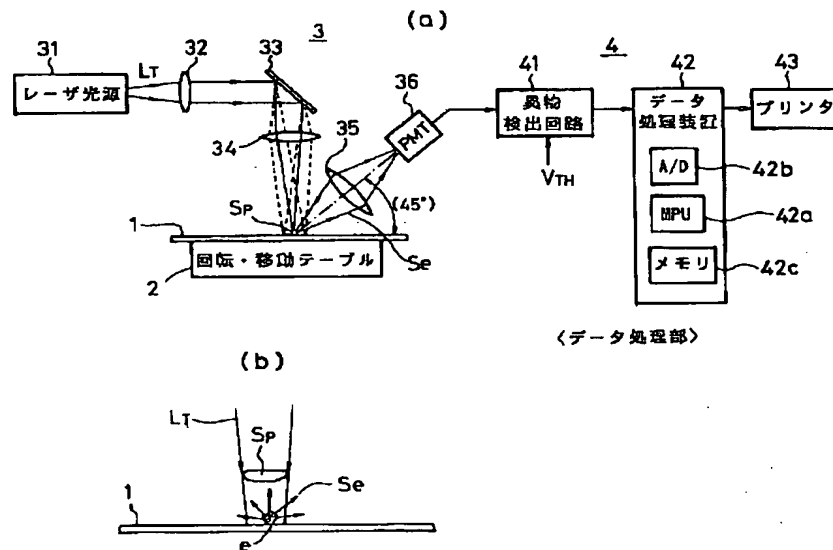
【図 7】



【図4】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 飯塚 繁晴
東京都渋谷区東3丁目16番3号 日立電子
エンジニアリング株式会社内